

d)

SPACIAL LIGHT MODULATOR

Patent Number: JP10142529
Publication date: 1998-05-29
Inventor(s): IWASAKI YUTAKA
Applicant(s): NIKON CORP
Requested Patent: ☐ JP10142529
Application Number: JP19960317102 19961113
Priority Number(s):
IPC Classification: G02B26/08
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a spacial light modulator capable of deflecting light made incident from a light source in various arbitrary directions (at least \geq three directions) in the spacial light modulator reflecting light from the light source in a prescribed direction for every minute lens by using a mirror array composed of plural minute mirrors.

SOLUTION: Plural mirrors 1 are supported by beams 2, 3, inclined by generating distortion by electrostatic attraction and an inclined end part on the side of a substrate is brought into contact with a substrate 4. In the plural mirrors 1, when they are composed of mirrors 1 in which a lengths L1, L3 from a virtual line 1 connecting the supporting parts of two beams 2, 3 to the inclined end part on the side of the substrate are equal to the lengths L2, L4 to the other inclined end part, an individual mirror element M is inclined by an equal positive or negative angle about the virtual line 1 and the spacial light modulator generating plural tilt angles is obtained in accordance with the difference between the lengths L1, L3 from the virtual line to the inclined end part on the side of the substrate.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

d)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-142529

(43) 公開日 平成10年(1998) 5月29日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 2 B 26/08

識別記号

F I

G 0 2 B 26/08

E

審査請求 未請求 請求項の数6 F D (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平8-317102

(22) 出願日 平成8年(1996)11月13日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 岩崎 豊

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

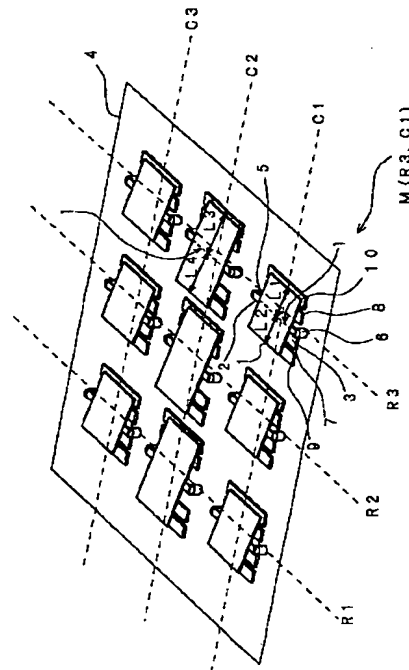
(74) 代理人 弁理士 森岡 正樹

(54) 【発明の名称】 空間光変調器

(57) 【要約】

【課題】本発明は、複数の微小ミラーで構成されるミラーアレイを用いて、光源からの光を各微小ミラー毎に所定方向に反射させる空間光変調器に関し、光源から入射した光を種々の任意の方向（少なくとも3方向以上）に偏向させることができる空間変調器を提供することを目的とする。

【解決手段】複数のミラー1の各々が梁2、3により支持され、静電引力により梁2、3にねじれを生じさせて傾斜し、基板側傾斜端部が基板4上に接触する。複数のミラー1において、2本の梁2、3の支持部を結ぶ仮想直線1から基板側傾斜端部までの長さL1、L3と他方の傾斜端部までの長さL2、L4とが等しいミラー1で構成すれば、個々のミラーエレメントMは仮想直線1を軸に正負等しい角度で傾斜し、且つ仮想直線1からの基板側傾斜端部までの長さL1、L3の相違に応じて複数の傾斜角を生じる空間光変調器となる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】基板上に設けられた複数の支柱にそれぞれ接続され、前記基板から所定の高さで前記基板にほぼ水平に張り出した複数の梁と、

前記複数の梁にそれぞれ支持され、前記基板との間に生じさせた静電引力による前記梁の変形により傾斜する複数のミラーとを有する空間光変調器において、前記複数のミラーは、前記梁の支持部から基板側傾斜端部までの長さが異なる複数種類のミラーを含んでいることを特徴とする空間光変調器。

【請求項2】請求項1記載の空間光変調器において、前記複数のミラーの各々は、前記複数の梁のうち所定の2本の梁により支持され、前記静電引力により当該2本の梁にねじれを生じさせて傾斜し、前記基板側傾斜端部が前記基板上の所定の接触面に接触することを特徴とする空間光変調器。

【請求項3】請求項2記載の空間光変調器において、前記複数のミラーは、前記2本の梁の支持部を結ぶ仮想直線から前記基板側傾斜端部までの長さとは他方の傾斜端部までの長さが等しいミラーを含んでいることを特徴とする空間光変調器。

【請求項4】請求項2記載の空間光変調器において、前記複数のミラーは、前記2本の梁の支持部を結ぶ仮想直線から前記基板側傾斜端部までの長さとは他方の傾斜端部までの長さが異なるミラーを含んでいることを特徴とする空間光変調器。

【請求項5】請求項2記載の空間光変調器において、前記複数のミラーは、前記2本の梁の支持部を結ぶ仮想直線が同一方向に並ぶように配置されていることを特徴とする空間光変調器。

【請求項6】請求項2記載の空間光変調器において、前記複数のミラーは、前記2本の梁の支持部を結ぶ仮想直線が異なる方向を向くように配置されていることを特徴とする空間光変調器。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】本発明は、複数の微小ミラーで構成されるミラーアレイを用いて、光源からの光を各微小ミラー毎に所定方向に反射させる空間光変調器に関する。

【0002】

【従来の技術】電気的に独立して制御可能な複数の微小ミラーを2次元的に配置したマイクロミラーアレイにより、光源からの入射光を微小ミラー単位で所定方向に偏向させる空間光変調器として、特開平2-8812号に開示されているようなデジタル・マイクロミラー・デバイス（以下DMDと言う）が知られている。このDMDは、現在の半導体製造工程で用いられるフォトリソグラフィ技術で容易に小型に製造し、且つ多数の微小ミラーを高密度に実装でき、しかも従来の表示装置（例えばC

RTや液晶表示装置）に比較して低消費電力での駆動が行えることから、投射型表示装置（プロジェクタ）の表示用のライトバルブとして、あるいは電子写真方式の印刷装置の印刷ヘッド等への応用が考えられている。

【0003】従来のDMDの構成を図8を用いて説明する。図8は、DMDを構成するミラーエレメントMの構造を示した斜視図である。導電性材料で形成された例えば一辺が15 μ m程度のほぼ正方形形状のミラー1は、対向する2辺のほぼ中央部でそれぞれ梁2、3に接続されており、この梁2、3を介して基板4上に立てられた支柱5、6と接続されている。ミラー1は、ねじりモーメントを受けて梁2、3が同方向にねじれることにより、図中破線で示したような2つの梁2、3を結ぶ仮想直線を中心としてその両側のいずれか一方に傾斜することができるようになっている。

【0004】ミラー1の裏面と対向する基板4上には、2つのアドレス電極7、8および2つのランディング電極9、10が形成されている。ランディング電極9、10はミラー1が傾斜した際に、ミラー1端部が接触する位置にそれぞれ設けられている。アドレス電極7、8は、支柱5、6とランディング電極9、10とのほぼ中間位置の基板4上に設けられている。2つのランディング電極9、10とミラー1とは電気的に接続されており、これらにはバイアス電位（VB）が印加されるようになっている。2つのアドレス電極7、8のそれぞれには、絶対値が等しくて極性が逆のアドレス電圧（VA）が印加されるようになっている。バイアス電圧値VBおよびアドレス電圧値VAを適当に選択し、また、適当なタイミングでこれらの電圧を各々の電極に印加することによって、極性の異なる電位のアドレス電極7、8とミラー1との間に静電的な引力及び反発力を生じさせることにより梁2、3の軸回りにねじりモーメントを生じさせ、ミラー1を一方に回転させることができる。

【0005】ミラー1の一端部がランディング電極9に接触して傾斜する状態を「オン状態」、他端部がランディング電極10に接触して傾斜する状態を「オフ状態」として、ミラー1の状態をデジタル的に選択することができるようになっている。このミラー1の基板4面に水平な位置からの傾斜角は例えばオン状態が+10°、オフ状態が-10°である。従来のDMDでは、このような構造の同一形状のミラーエレメントMが数百万個程度までアレイ状に配置されており、各エレメントは、独立にオン状態またはオフ状態になるように外部から制御できるようになっている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】このように複数のミラーエレメントMを用いた従来の空間光変調器は、上述のDMDに代表されるように、オン状態とオフ状態との2値動作をするようにデジタル的に駆動される（以下これをデジタル駆動と言う）。しかしながら、このようなデ

デジタル駆動による空間光変調器では、投写型画像形成装置や電子写真方式の印刷装置等のように各ミラーエレメントMでの光の反射方向を2方向に切り替えるだけの用途には十分機能するが、オン状態とオフ状態の間の任意の角度を個々のミラーエレメントM毎に設定することができないので空間光変調器としての応用範囲が限られてしまい、その用途を広げることができないという問題を有している。

【0007】一方デジタル駆動に対して、ミラーエレメントMをアナログ的に駆動させることも考えられる。例えばミラー1とランディング電極9、10にはグラウンド電位を印加しておいて、ミラー1に例えば $+\theta$ 方向の回転モーメントを与えるように正極のアドレス電極8に所望の電圧を印加する。こうすることにより、静電引力によるミラー1の $+\theta$ 方向の回転によりミラー1を支持している梁2、3に働くねじりモーメントと梁2、3のねじり応力とのバランスがとれるまでミラー1は回転してある傾斜角で停止するようにさせることができる。しかしながら、このアナログ駆動でミラー1の所望の傾斜角を得るための静電引力の制御を梁2、3の有するねじり応力に対応させて行うのは現実的には種々の困難が伴う。また、大きな傾斜角をミラー1に与えるにはアナログ駆動よりデジタル駆動の方が有利であるという事実もある。

【0008】このように、微小ミラーをマトリクス上に多数配列したミラーアレイで構成される従来の空間光変調器では、現実には空間光変調器に入射した光源からの光を各ミラーエレメントM毎に所定の2方向にしか偏向させることができないという問題を有している。

【0009】本発明は上記従来の空間光変調器が有している問題点を解決するためになされたものであって、その目的は、光源から入射した光を種々の任意の方向（少なくとも3方向以上）に偏向させることができる空間変調器を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するための本発明による空間光変調器は、基板上に設けられた複数の支柱にそれぞれ接続され、基板から所定の高さで基板にほぼ水平に張り出した複数の梁と、複数の梁にそれぞれ支持され、基板との間に生じさせた静電引力による梁の変形により傾斜する複数のミラーとを有する空間光変調器であって、複数のミラーが、梁の支持部から基板側傾斜端部までの長さが異なる複数種類のミラーを含んでいる点に特徴を有している。従って、複数のミラーが基板から所定の高さに位置する梁に支持されていても、梁の支持部から基板側傾斜端部までの長さが異なる複数種類のミラーにより種々の傾斜角度を得ることができるようになるので、光源から空間光変調器に入射した光を種々の任意の方向に偏向させることができるようになる。

【0011】また本発明による空間光変調器は、複数のミラーの各々が、複数の梁のうち所定の2本の梁により支持され、静電引力により当該2本の梁にねじれを生じさせて傾斜し、基板側傾斜端部が基板上の所定の接触面に接触するようにした構成でもよい。そして、本発明の第1の実施の形態で説明する図1に示すように複数のミラー(1)において、2本の梁(2、3)の支持部を結ぶ仮想直線(1)から基板側傾斜端部までの長さ(L1、L3)と他方の傾斜端部までの長さ(L2、L4)とが等しいミラー(1)で構成すれば、個々のミラーエレメント(M)は仮想直線(1)を軸に正負等しい角度で傾斜し、且つ仮想直線(1)からの基板側傾斜端部までの長さ(L1、L3)の相違に応じて複数の傾斜角を生じる空間光変調器となる。従って、光源から本発明の空間光変調器に入射した光を、少なくとも4方向以上に偏向させることができるようになる。

【0012】また、本発明の第2の実施の形態で説明する図5に示すように複数のミラーを、2本の梁(2、3)の支持部を結ぶ仮想直線(1)から基板側傾斜端部までの長さ(L3)と他方の傾斜端部までの長さ(L4)とが異なるミラー(1(C2列のミラー))を含むように構成すれば、仮想直線(1)から基板側傾斜端部までの長さ(L3)と他方の傾斜端部までの長さ(L4)とが異なるミラーエレメント(M)は仮想直線(1)を軸に正負の角度が異なる2種類の傾斜角を生じさせることができるようになる。

【0013】また、例えば図1及び図5に示すように、複数のミラー(1)の仮想直線(1)が同一方向に並ぶようにミラーエレメント(M)を配置すると、仮想直線(1)に対して垂直な方向から光を入射させるようにして、複数種類のミラーの傾斜角の相違に依存せずに各ミラーに入射する光の入射面を描えることができるようになる。あるいは、図6に示すように、複数のミラー(1)の仮想直線(1)を任意の異なる方向に向くようにミラーエレメント(M)を配置すれば、光源からの光の偏向方向を任意の方向にすることができるようになる。

【0014】

【発明の実施の形態】本発明の第1の実施の形態による空間光変調器を図1乃至図4を用いて説明する。図1は本実施の形態による空間光変調器の構成を説明するための斜視図である。図1に示すように、半導体基板4表面部に形成された絶縁層(図示せず)上の複数の行R1～Rmと複数の列C1～Cnの各交差領域にミラーエレメントM(Rm, Cn)が形成され、全体としてマトリクス状のミラーアレイが構成されている。図1においてはミラーエレメントMのマトリクス配置の一部M(R1, C1)～M(R3, C3)のみを示している。

【0015】各ミラーエレメントMの構成について説明する。何れのミラーエレメントMも、アルミニウム(A

1) 等の高反射率を有し且つ導電性を有する材料で形成されたミラー1を備えている。そしてミラー1は、対向する2辺のほぼ中央部でそれぞれ梁2、3に支持されており、この梁2、3を介して基板4上に立てられた支柱5、6と接続されている。ミラー1を支持する2つの梁2、3は基板4表面からほぼ同じ高さを有する支柱5、6上に接続されている。従って、梁2、3の支持部を結ぶ仮想直線1から基板4表面までの距離は何れのミラーエレメントMにおいても同一であり、その距離(高さ)は $1.4\mu\text{m}$ である。また、梁2、3及び支柱5、6も導電性を有する例えばアルミニウム合金で形成されている。

【0016】ミラー1は、ねじりモーメントを受けて梁2、3が同方向にねじれることにより、仮想直線1を中心としていずれか一方に傾斜するようになっている。ミラー1の裏面と対向する基板4表面部の絶縁層上には、2つのアドレス電極7、8および2つのランディング電極9、10が形成されている。ランディング電極9、10はミラー1が傾斜した際に、ミラー1端部が接触する位置にミラー1端部が十分接触できる領域の大きさを確保してそれぞれ設けられている。アドレス電極7、8は、支柱5、6とランディング電極9、10との間の基板4上であってランディング電極9、10に近い位置に設けられている。2つのランディング電極9、10とミラー1とは梁2、3及び支柱5、6を介して電氣的に接続されており、これらにはバイアス電位(VB)が印加されるようになっている。2つのアドレス電極7、8のそれぞれには、絶対値が等しくて極性が逆のアドレス電圧(VA)が印加されるようになっている。

【0017】このアドレス電極7、8へのアドレス電圧の印加は、アドレス電極7、8下部の絶縁層に開口した2つのコンタクトホール(図示せず)によりアドレス電極7、8と接続された、基板4に形成された例えばCMOS SRAMセル(図示せず)から行われるようになっている。バイアス電圧値VBおよびアドレス電圧値VAを適当に選択し、また、適当なタイミングでこれらの電圧を各々の電極に印加することによって、極性の異なる電位のアドレス電極7、8とミラー1との間に静電的な引力及び反発力を生じさせることにより梁2、3の軸回りにねじりモーメントを生じさせ、ミラー1を一方向に回転させることができる。ミラー1の一端部がランディング電極9に接触して傾斜する状態を「オン状態」、他端部がランディング電極10に接触して傾斜する状態を「オフ状態」として、ミラー1の状態をデジタル的に選択することができるようになっている。図1では、全てのミラーエレメントMが「オン状態」である場合を示している。

【0018】以上のように各ミラーエレメントMはそれぞれ同一の機能を有する構成要素から成り立っているが、本実施の形態による空間光変調器は、複数のミラー

1が、梁2、3の支持部から基板4側傾斜端部までの長さが異なる複数種類のミラー1を含んでいる点に特徴を有している。図1において、C1列及びC3列にあるミラーエレメントMのミラー1は一辺の長さ($L1+L2$)が $16\mu\text{m}$ の正方形形状をしており、C2列にあるミラーエレメントMのミラー1は2つの梁2、3を結んだ仮想直線1と平行な辺、すなわちランディング電極9、10のいずれかと接触可能な辺の長さが $16\mu\text{m}$ であり、他方の辺、即ち梁2、3でそれぞれ支持されている辺の長さ($L3+L4$)が $24\mu\text{m}$ である長方形形状をしている。そして、何れのC列のミラー1も2本の梁2、3の支持部を結ぶ仮想直線1からランディング電極9、10のいずれかと接触可能な辺の端部までの距離が等しくなっている($L1=L2$ 、 $L3=L4$)。C1列、C3列の各ミラー1の傾斜角は $\pm 10^\circ$ 、C2列の各ミラー1の傾斜角は $\pm 6.7^\circ$ となり光源からの光に対してミラーアレイ全体として異なる複数の傾斜角(少なくとも4種類以上)を与えることができるようになる。

【0019】図2は本実施の形態による空間光変調器におけるミラーエレメントMの1つを側面から見た概略図である。図2を用いて本実施の形態による空間光変調器におけるミラーエレメントMの動作を説明する。なお、図示を簡略にして説明を分かり易くするため、ミラーエレメントMの支柱5、6、梁2、3の図示は省略している。光源11から出射した光はミラーエレメントMのミラー1に照射される。例えばオン状態にあるミラーエレメントMのミラー1(図中実線で示す)で反射した光は、図中実線Aの矢印で示された方向へ向かい、オフ状態にあるミラーエレメントMのミラー1(図中破線で示す)で反射した光は、図中破線Bの矢印で示された方向へ向かう。入射光に対するA方向とB方向の角度の差はミラー1の傾斜角で決定される。ミラー1は、オン状態、オフ状態共に端部がランディング電極9又は10に接しているため、傾斜角は、ミラー1と基板4の間の距離で決定される。

【0020】図3は本実施の形態による空間光変調器における2つのミラーエレメントMを側面から見た概略図である。図3を用いて本実施の形態による空間光変調器におけるミラーエレメントMの作用を説明する。図3では、例として図1におけるミラーエレメントM(R3, C1)とミラーエレメントM(R3, C2)を用いて説明する。なお、図示を簡略にして説明を分かり易くするため、2つのミラーエレメントの各アドレス電極7、8と支柱5、6、梁2、3の図示は省略している。

【0021】ミラーエレメントM(R3, C1)のミラー1の傾斜角 θ はミラー1と基板4の距離h及び、仮想直線1からランディング電極10に接触するミラー1の端部までの距離L1で決定される。この関係は、 $\sin \theta = h/L1$ という単純な式で表せる。ここで θ は、図

3中で点線で示された基板4に平行な平面とミラーのなす角(傾斜角)であり、ここでは点線で示す平面から時計回りにミラーが傾斜するときの角度を正とする。図示のようにミラーエレメントM(R3, C1)のミラー1が傾斜角 θ で傾斜してランディング電極10に接触している状態で光源11から光が照射されると、出射光は当該ミラー1により図示のA方向に反射させられる。

【0022】同様にミラーエレメントM(R3, C2)のミラー1'の傾斜角 θ' ($\theta' < \theta$)はミラー1'と基板4の距離 h' 及び仮想直線1からランディング電極10に接触するミラー1'の端部までの距離 $L3$ で決定される。この関係は同様に $\sin \theta' = h' / L3$ という単純な式で表せる。ミラー1、1'と基板4との距離 h 、 h' を一定($h = h'$)とした場合、所望の θ' をミラーエレメントM(R3, C2)に与えるためには、仮想直線1から、ランディング電極に接触するミラーの端部までの距離 L を $L = L3 (> L1)$ とすればよいことがわかる。図示のようにミラーエレメントM(R3, C2)のミラー1'が傾斜角 θ' で傾斜してランディング電極10'に接触している状態で光源11から光が照射されると、出射光は当該ミラー1'により、ミラーエレメントM(R3, C1)のA方向と異なるB方向に反射させられる。

【0023】このように本実施の形態の空間光変調器によれば、複数のミラー1が基板4から所定の高さ h に位置する梁2、3に支持されていても、梁2、3の支持部から基板側傾斜端部までの長さ($L1$ 、 $L3$)が異なる複数種類のミラー1により種々の傾斜角度を得ることができるようになるので、光源11から空間光変調器に入射した光を種々の任意の方向に偏向させることができるようになる。また、2本の梁2、3の支持部を結ぶ仮想直線1から基板側傾斜端部までの長さ($L1$ 、 $L3$)と他方の傾斜端部までの長さ($L2$ 、 $L4$)とが等しいミラー1で構成しているので、個々のミラーエレメントMは仮想直線1を軸に正負等しい角度で傾斜し、且つ仮想直線1からの基板側傾斜端部までの長さの相違($L1$ と $L3$ 、又は $L2$ と $L4$)に応じて複数の傾斜角を生じる空間光変調器となる。従って、光源11から本実施の形態による空間光変調器に入射した光を、少なくとも4方向以上に偏向させることができるようになる。

【0024】次に本実施の形態による空間光変調器の製造方法を図4を用いて簡単に説明する。アドレス電圧を印加するアドレス回路(図示せず)が既に形成された基板13上に絶縁層15を形成し、絶縁層15の所定位置にコンタクトホールを形成する。全面に例えばアルミニウム合金を堆積してパターニングし、アドレス回路に接続されるアドレス電極14と、支柱形成領域の電極層20とを形成する(図4(a))。次に、例えばPMMA(ポリメチルメタクリレート)を厚さ2~3 μ m程度で全面に塗布して犠牲層16を形成した後パターニングし

て電極層20上に支柱を形成するためのトレンチを形成する(図4(b))。次に、スパッタリングによりアルミニウム合金層を厚さ500から1000Å程度堆積してパターニングし、支柱17、梁18を形成する。次に、300~5000Å程度の厚さでアルミニウムを堆積してパターニングし、ミラー19を形成する(図4(c))。最後に犠牲層16をエッチングにより除去する(図4(d))。

【0025】このように本実施の形態による空間光変調器は、例えばミラーをパターニングする際のミラーの所定形状に合わせてマスクの形状を異ならせる点以外は従来のDMDの製造方法と全く同様のプロセスを用いて製造することができるという大きな利点を有している。

【0026】既に説明したように、ミラーエレメントMのミラーの傾斜角 θ は、 $\sin \theta = h / L$ という式で表せるが、この式は、高さ h をミラーエレメントM毎に変更することによっても傾斜角 θ を変更し得ることを示している。しかしながら、図4に示すようにミラー19と基板13の間の距離は、犠牲層16の厚さで決定されている。従って、ミラーエレメントM毎に高さ h を変更しようとする、ミラーエレメントMの製造工程において犠牲層16の高さをミラーエレメントM毎に異ならせる必要が生じ、極めて複雑で困難な製造プロセスを経なければ所望の傾斜角 θ を有するミラーエレメントMを形成できないという問題を生じてしまう。本実施の形態による空間光変調器の構成によれば、基板4からミラー19までの高さをどのミラーエレメントMでも同一にしつつ、各ミラー19の傾斜角 θ を任意に変更させることができるようにしているので、犠牲層16は一層のみ形成すればよく、プロセスを複雑にすることなく各ミラーエレメントMに所望の傾斜角 θ を与えることができる。

【0027】このように本実施の形態による空間光変調器によれば、従来のDMDの製造工程に対して何ら工程の増加を招くことなく現状の半導体装置の製造技術を用いて製造することが可能になるという利点も生じる。

【0028】次に、本発明の第2の実施の形態による空間光変調器を図5を用いて説明する。図5は本実施の形態による空間光変調器の構成を説明するための斜視図である。図5に示す空間光変調器においても第1の実施の形態における図1に示したのと同様に、半導体基板4表面部に形成された絶縁層(図示せず)上の複数の行 $R1 \sim Rm$ と複数の列 $C1 \sim Cn$ の各交差領域にミラーエレメントM(Rm, Cn)が形成され、全体としてマトリクス状のミラーアレイが構成されたものである。図5においてはミラーエレメントMのマトリクス配置の一部M($R1, C1$)~M($R3, C3$)のみを示している。

【0029】各ミラーエレメントMの構成について説明する。第1の実施の形態における空間光変調器と同様の材質あるいは、作用、機能等については説明を省略する。本実施の形態におけるミラーエレメントMも、ミラ

ー1が対向する2辺でそれぞれ梁2、3に接続されて支持されており、この梁2、3を介して基板4上に立てられた支柱5、6と接続されている。ミラー1を支持する2つの梁2、3は基板4表面からほぼ同じ高さを有する支柱5、6上に接続されている。従って、梁2、3の支持部を結ぶ仮想直線1から基板4表面までの距離は何れのミラーエレメントMにおいても同一である。

【0030】以上のように各ミラーエレメントMはそれぞれ同一の機能を有する構成要素から成り立っているが、本実施の形態による空間光変調器は、複数のミラー1が、梁2、3の支持部から基板4側傾斜端部までの長さが異なる複数種類のミラー1を含んでいる点に特徴を有している。図5において、C1列及びC3列にあるミラーエレメントMのミラー1は一辺の長さ($L1+L2$)が $16\mu\text{m}$ の正方形形状をしており、2本の梁2、3の支持部を結ぶ仮想直線1からランディング電極9、10のいずれかと接触可能な辺の端部までの距離が等しくなっている($L1=L2=8\mu\text{m}$)。

【0031】一方、C2列にあるミラーエレメントMのミラー1は2つの梁2、3を結んだ仮想直線1と平行な辺、すなわちランディング電極9、10のいずれかと接触可能な辺の長さが $16\mu\text{m}$ であり、他方の辺、即ち梁2、3でそれぞれ支持されている辺の長さ($L3+L4$)が $20\mu\text{m}$ である長方形形状をしている。そして、2本の梁2、3の支持部を結ぶ仮想直線1からランディング電極9、10のいずれかと接触可能な辺の端部までの距離が異なっている($L3\neq L4$)点に特徴を有している。本実施の形態においては、 $L3=8\mu\text{m}$ 、 $L4=12\mu\text{m}$ である。

【0032】従って、オン状態では、全てのミラーが $+10^\circ$ の傾斜角で傾き、オフ状態では、C1列及びC3列のミラーでは -10° の傾斜角となり、C2列のミラーでは -6.7° の傾斜角が得られるようになっている。従って、光源からの光に対してミラーアレイ全体としては少なくとも3種類以上の偏向方向を与えることができ、さらにオン状態とオフ状態での偏向方向を任意に変更させることができるようになる。

【0033】図5の例では、R1行及びR3行のミラーエレメントMが「オン状態」であり、R2行のミラーエレメントMが「オフ状態」である場合を示している。

【0034】このように本実施の形態の空間光変調器によれば、複数のミラー1を、2本の梁2、3の支持部を結ぶ仮想直線1から基板側傾斜端部までの長さとは異なる傾斜端部までの長さとは異なるミラー1(C2列のミラー)を含むように構成しているため、仮想直線1から基板側傾斜端部までの長さとは異なる傾斜端部までの長さとは異なるミラーエレメントMは仮想直線1を軸に正負の角度が異なる2種類の傾斜角を生じさせることができるようになる。従って、光源から本実施の形態による空間光変調器に入射した光を多方向に偏向させることができ

るようになる。

【0035】また、本実施の形態による空間光変調器においても、その製造方法は第1の実施の形態で図4を用いて説明したのと同様であり、従って、例えばミラーをパターニングする際のマスクの形状が異なる以外は従来のDMDの製造方法と全く同様のプロセスを用いて製造することができ、従来のDMDの製造工程に対して何ら工程の増加を招くことなく現状の半導体装置の製造技術を用いて製造することが可能になるという利点も生じる。

【0036】次に、本発明の第3の実施の形態による空間光変調器を図6及び図7を用いて説明する。図6は本実施の形態による空間光変調器の構成を説明するための斜視図である。図6に示す空間光変調器においても第1の実施の形態における図1に示したのと同様に、半導体基板4表面部に形成された絶縁層(図示せず)上の複数の行R1~Rmと複数の列C1~Cnの各交差領域にミラーエレメントM(Rm, Cn)が形成され、全体としてマトリクス状のミラーアレイが構成されている。図5においてはミラーエレメントMのマトリクス配置の一部M(R1, C1)~M(R3, C3)のみを示している。

【0037】各ミラーエレメントMの構成について説明する。第1及び第2の実施の形態における空間光変調器と同様の材質あるいは、作用、機能等については説明を省略する。本実施の形態におけるミラーエレメントMも、ミラー1が対向する2辺でそれぞれ梁2、3に接続されて支持されており、この梁2、3を介して基板4上に立てられた支柱5、6と接続されている。ミラー1を支持する2つの梁2、3は基板4表面からほぼ同じ高さを有する支柱5、6上に接続されている。従って、梁2、3の支持部を結ぶ仮想直線1から基板4表面までの距離は何れのミラーエレメントMにおいても同一である。

【0038】以上のように各ミラーエレメントMはそれぞれ同一の機能を有する構成要素から成り立っているが、本実施の形態による空間光変調器は、上記第1及び第2の実施の形態において説明したミラーエレメントMを用い、それら複数のミラーエレメントMの支柱5、6、の配置をそれぞれ異ならせた点に特徴を有している。つまり、第1及び第2の実施の形態における図1及び図5に示すミラーエレメントMでは、複数のミラー1の仮想直線1が同一方向に並ぶようにミラーエレメントMを配置していたが、本実施の形態においては、複数のミラー1の仮想直線1が任意の異なる方向に向くように各ミラーエレメントMを基板4上で所定量回転させて配置している。

【0039】こうすることにより各ミラーエレメント毎に所望の反射角と反射方向を与えることができ、光源からの光の反射光を高い自由度で任意の方向に偏向させる

ことができるようになる。

【0040】なお、本実施の形態にけるミラーエレメントの構成要素であるアドレス電極7、8、ランディング電極9、10も各ミラーエレメントM毎に所望の角度回転して配置される。図7は本実施の形態による空間光変調器の主としてアドレス電極7、8の形状及び配置を示す平面図である。各ミラーエレメントMを基板4上で所定量回転させて配置するために、図7に例示するように基板4上のアドレス電極7、8も所定量回転させた所定位置に形成している。このようにアドレス電極7、8を配置しても、下層のアドレス回路との電気的接続を確保するコンタクトホール22、23の位置は変更させることなく、アドレス電極7、8とコンタクトホール22、23間を図示のようにリード配線で接続するようにしている。

【0041】本実施の形態による空間光変調器においても、その製造方法は第1の実施の形態で図4を用いて説明したのと同様であり、従って、例えばミラーをパターンニングする際のマスクの形状が異なる以外は従来のDMDの製造方法と全く同様のプロセスを用いて製造することができ、従来のDMDの製造工程に対して何ら工程の増加を招くことなく現状の半導体装置の製造技術を用いて製造することが可能になるという利点も生じる。

【0042】本発明は、上記実施の形態に限らず種々の変形が可能である。例えば、上記実施の形態においては、ミラーの両端を支持してねじりモーメントを受ける2本の梁が形成されている空間光変調器(DMD)について説明したが、本発明はこれに限ることなく、例えばミラーの一端を支持して曲げモーメントを受けて撓む1本の梁が形成されているDMDにも当然応用することが可能である。

【0043】また上記実施の形態において、ミラーエレメントMのミラーの大きさが異なると1エレメント当たりの反射光量も異なることになるが、ミラーのランディング電極に接触する辺の長さを変化させたり、ミラーの一部を反射防止膜等で被覆したりすることにより各ミラーエレメント当たりの反射光量を調整し、均一化することは可能である。

【0044】

【発明の効果】以上の通り、本発明によれば、複数のミラーが基板から所定の高さに位置する梁に支持されていても、梁の支持部から基板側傾斜端部までの長さが異なる複数種類のミラーにより種々の傾斜角度を得ることができるようになるので、光源から空間光変調器に入射した光を種々の任意の方向に偏向させることができるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態による空間光変調器の構成を示す斜視図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態による空間光変調器におけるミラーエレメントMの1つを側面から見た概略図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態による空間光変調器における2つのミラーエレメントMを側面から見た概略図である。

【図4】本発明の第1の実施の形態による空間光変調器の製造方法を説明する図である。

【図5】本発明の第2の実施の形態による空間光変調器の構成を示す斜視図である。

【図6】本発明の第3の実施の形態による空間光変調器の構成を示す斜視図である。

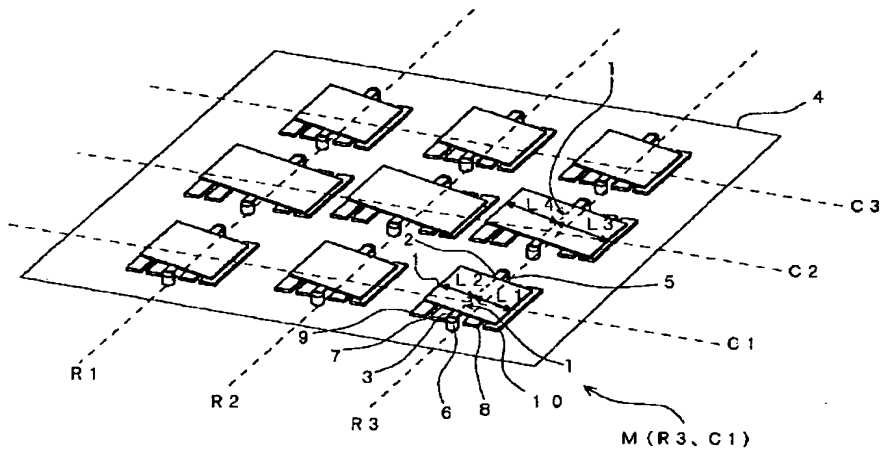
【図7】本発明の第3の実施の形態による空間光変調器における主としてアドレス電極の形状及び配置を示す平面図である。

【図8】従来のMDMの構成を示す斜視図である。

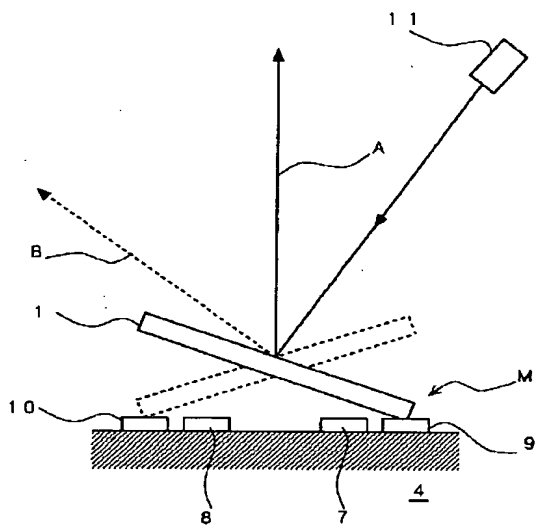
【符号の説明】

- 1、19 ミラー
- 2、3、18 梁
- 4 基板
- 5、6、17 支柱
- 7、8、14 アドレス電極
- 9、10 ランディング電極
- 11 光源
- 15 絶縁層
- 16 犠牲層
- 20 電極層
- 22 コンタクトホール

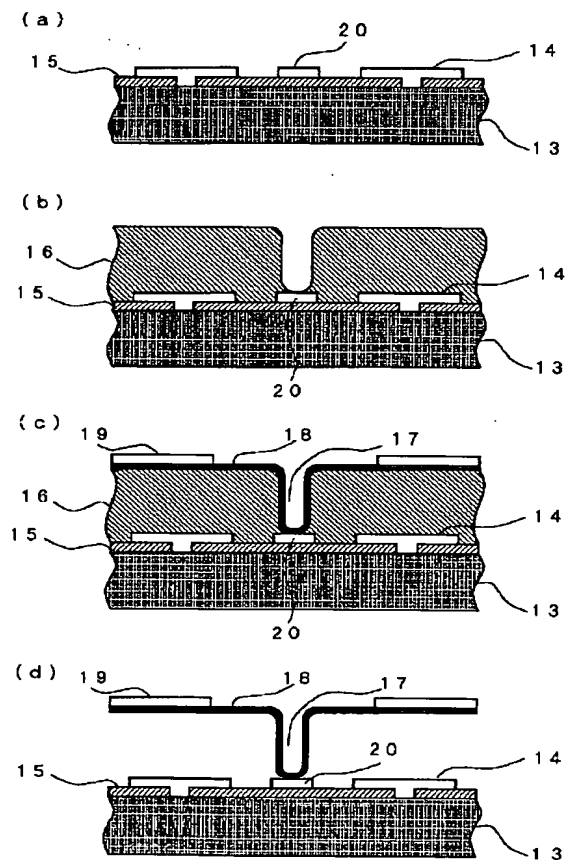
【図1】



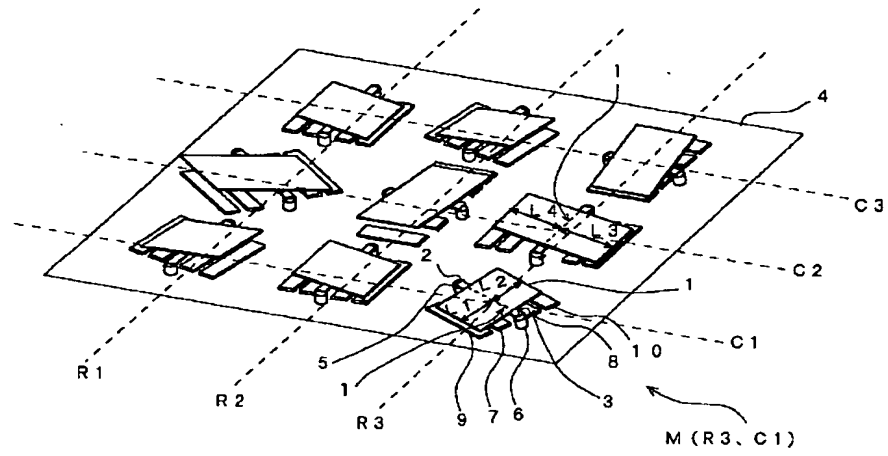
【図2】



【図4】



【図6】



【図7】

